جغرافیا و مخاطرات محیطی، شمارهٔ سی و سوم، بهار ۱۳۹۹

صص ۲۶۲- ۲۳۹

DOI: https://doi.org/10.22067/geo.v0i0.78427

مقاله پژوهشی

تجزیه و تحلیل روش‌های برآورد ارتفاع برف مرز دائمی یخچال‌های کواترنری در ایران

غلام حسن جعفری[1] - دانشیار ژئومورفولوژی دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.

نسرین حضرتی - کارشناس ارشد هیدروژئومورفولوژی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۰/۲۰ تاریخ تصویب: ۱۳۹۸/٤/٤

چکیده

تغییرات اقلیمی کواترنری موجب جابه‌جایی ارتفاع برف مرز در نواحی کوهستانی ایران شده است. با توجه به گستردگی ایران در عرض‌های جغرافیایی مختلف و امتداد متنوع ناهمواری‌های آن، بررسی تغییرات این ارتفاع به‌صورت یک واحد امکان‌پذیر نیست. بر این اساس در حوضه‌های آبریز درجه ۲ ایران به تفکیک، آثار یخچال‌های کواترنری شناسایی شد. ارتفاع برف مرز به روش‌های رایت، ارتفاع کف سیرک پورتر، نسبت پنجه به دیواره رایت و پورتر و نسبت‌های ارتفاعی برآورد گردید. نتایج حاکی از آن است که ارتفاع برف مرز برآورد شده با روش رایت در بسیاری از حوضه‌های آبریز با روش‌های دیگر همخوانی ندارد. از اعمال این روش در برآورد ارتفاع برف مرز دائمی در چنین حوضه‌های آبریزی صرف‌نظر شد. در مجموع از ۲۱ حوضه آبریز دارای آثار سیرک یخچالی کواترنری، ارتفاع برف مرز ۹ حوضه آبریز با روش نسبت‌های ارتفاعی، ٦ حوضه آبریز با روش ارتفاع کف سیرک پورتر، ۵ حوضه آبریز با روش نسبت پنجه به دیواره رایت و ۱ حوضه آبریز با روش نسبت پنجه به دیواره پورتر همخوانی بیشتری دارد. بالاترین ارتفاع برف مرز کواترنری برآورد شده، در حوضه آبریز کویر درانجیر در واحد ژئومورفیک ایران مرکزی ۳۰۹۸ متر و پایین‌ترین آن در حوضه آبریز تالش- مرداب انزلی در واحد ژئومورفیک شمال ۲۰۳۳ متر است. اختلاف ارتفاع برف مرز دائمی کواترنری ناهمواری‌های ایران، ۱۰٦۵ متر بوده است. این ارتفاع بین ۲۰۳۰ تا ۳۱۰۰ متر متغیر بوده است. در بین واحدهای ژئومورفیک بالاترین ارتفاع برف مرز کواترنری متعلق به ایران مرکزی (۲۸۵۳ متر) و پایین‌ترین آن در واحد ژئومورفیک شمال شرق (۲٤۲٤ متر) بوده است.

کلیدواژه‌ها: کواترنری، ایران، برف مرز، جهت، سیرک، رایت، پورتر.

۱ نویسنده مسئول: ۰۹۱۷۷۵۱۹۲۲۷ Email: jafarihas@yahoo.com

۱- مقدمه

بررسی فرآیندهای شکل زا با منشأ درونی و بیرونی دوره کواترنری بسیار اهمیت دارد (یمانی، ۱۳۸٦). تغییرات اقلیمی در کواترنری منجر به پیدایش دوره‌های یخچالی و بین یخچالی گردیده است (یمانی، ۱۳۸۱). ازجمله موارد اساسی در مطالعات یخچال شناسی خط برف مرز و خط تعادل آب‌ویخ است (رامشت،۱۳۹۰). برف مرز از نظر پورتر[1]، خطی است که در آن گسترش یخچال به‌وسیله انباشت بر ذوب یخ طی عمل برداشت برتری دارد (ابطحی،۱۳۹۲). در ارتباط با ارتفاع برف مرز دائمی هم به‌صورت محلی و هم به‌صورت ملی تحقیقات زیادی انجام‌شده است؛ در سطح ملی می‌توان به این موارد اشاره کرد؛ ایوانز[2] (۲۰۰٦) در ولز، سریکایا[3] (۲۰۱۱) در ترکیه، میندراسکو[4] (۲۰۱۳) در رومانی، هنریکس[5] (۲۰۱۵) در اتیوپی، جعفری (۱۳۸۸) و معیری و همکاران (۲۰۱۱) و همچنین جعفری (۱۳۹۳) در ایران. یکی از مسائل بحث‌برانگیز در این مورد تفاوت ارتفاع برف مرز دائمی در عرض‌های جغرافیایی و جهات مختلف جغرافیایی ایران است. چراکه تنوع در امتداد ناهمواری‌ها باعث می‌شود که تغییر جهت شیب دامنه‌های کوهستانی اثرات متفاوتی بر ارتفاع برف مرز کواترنری گذاشته باشد و نتوان به‌صورت کلی در مورد آن اظهارنظر نمود. این پژوهش با شناسایی سیرک‌های یخچالی در واحدهای ژئومورفیک و حوضه‌های آبریز درجه ۲ ایران، به تجزیه‌وتحلیل ارتفاع برف مرز دائمی کواترنری با روش‌های متفاوت پرداخته است.

حوضه آبریز به مساحتی از زمین است که اطراف آن را ارتفاعات در برگرفته و رواناب حاصل از بارندگی روی این سطح، در گودترین نقطه تمرکز پیداکرده است و از نقطه‌ای که پایین‌ترین ارتفاع را دارد از حوضه خارج می‌گردد (امین علیزاده، ۱۳۹۰: ٤٧٦). بر اساس معیار فضایی، واحد ژئومورفیک، بزرگ‌ترین سطحی در نظر گرفته شد که اشکال موجود در آن از همگونی و تجانس نسبی برخوردار بوده و با فضای مجاور خود قابل‌تفکیک هست. در صورت ثابت بودن متغیرهای جغرافیایی، اشکال حاصل از سنگ‌های یکنواخت تا حدودی می‌تواند همسان باشند و نتایج آن را در درجه اول، ساختمان زمین و جنس سنگ تعیین کرده است (علایی طالقانی، ۱۳۹۱: ۷۲).

عده زیادی از محققین در جهان به مطالعه یخچال و حاکمیت سیستم یخچالی پرداخته‌اند (جدول ۱). گرچه نمی‌توان زمان دقیق آغاز تحقیق و جستجوی انسان برای شناخت یخچال‌ها را تعیین کرد، اما در متون قدیم ایران‌زمین، اشارات عمیقی به این موضوع شده است؛ ازجمله آن: تفسیر شیخ‌الرئیس ابوریحان بیرونی درباره سنگواره‌ها و بازشناسی مواریث اقلیمی دوره‌های سرد و گرم است (رامشت، ۱۳۸۳). سابقه بررسی و ارائه نظریات قطعی در مورد یخچال‌های

1 Porter
2 Evans
3 Sarikaya
4 Mindrescu
5 Hendrickx

ایران، شاید به کمتر از ۸۰ سال اخیر برمی‌گردد (یمانی، ۱۳۸۸). محققین خارجی و ایرانی متعددی به مطالعه حاکمیت سیستم یخچال‌های کواترنری ایران، پرداخته‌اند (جدول ۲).

جدول ۱- محققین فعال درزمینه مطالعات یخچالی با ژئومورفولوژی یخچالی در جهان

نام محقق	سال تحقیق	منطقه موردمطالعه	نتیجه تحقیق	نام محقق	سال تحقیق	منطقه موردمطالعه	نتیجه تحقیق
اسمارک و شارپانتیه	۱۸۲۱	اسکاندیناوی و نروژ	وسیع‌تر بودن یخچال‌ها درگذشته نسبت به امروز	ایوانز	۲۰۰۶	ولز	آلی متری سیرک‌های منطقه ولز
ونتز	۱۸۲٤	سوئیس	وسیع‌تر بودن یخچال‌های سوئیس	بوچرویتنر	۲۰۰۶	-	شناخت یخچال‌ها به‌عنوان شاخص آب و هوایی و معلول تغییرات اقلیمی و محیطی
آگاسیز و لویس	۱۸٤۰	-	پایه‌گذاری یخچال شناسی دیرینه	کریس	۲۰۰۶	قفقاز	عقب‌نشینی یخچال‌های قفقاز
فوربس	-	اسکاتلند	حرکت یخچال‌ها با توجه به تغییر شکل ویسکوزیته	ناپیرالسکی	۲۰۰۷	-	بررسی لند فرم‌های یخچالی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی
پنک و بروخنر	۱۹۰۱-۱۹۰۸	-	گزارش تناوب دوره‌های یخچالی و بین یخچالی و ٤ دوره یخچالی	سریکایا	۲۰۰۹	ترکیه	مطالعه یخبندان‌های کواترنری و اقلیم گذشته
ایرل	۱۹۳۰	آلپ	مشخص کردن دو دوره سرد قدیمی دیگر	سریکایا	۲۰۱۱	ترکیه	مطالعه زمین‌شناسی یخچال‌های ترکیه و بازسازی محیط گذشته
میلانکویچ	۱۹۵۰	-	بررسی آثار یخچالی و فرم ارضی رودخانه	میندراسکو	۲۰۱۳	رومانی	بررسی توسعه سیرک‌ها و بررسی تشابه آن با سیرک‌های منطقه ولز
کرک براید	۱۹۹۷	نیوزلند	کشف یخچال کوهستانی	خیانگ	۲۰۱۳	شمال غرب تبت	بررسی اقلیم و آثار یخچال‌های گذشته
کورتر و سانگور	۱۹۸۰	ترکیه	مطالعه یخبندان‌های ترکیه	دلماس	۲۰۱٤	کوه‌های آلپ	آلومتری سیرک‌ها و تجزیه‌وتحلیل نتایج آن
اسپوتیلا	۲۰۰٤	آلاسکا	کشف یخچال کوهستانی	سالچر	۲۰۱٤	-	شکل‌گیری اشکال یخچالی با توجه به عقب‌نشینی یخچال‌ها و ارتباط آن با فرسایش رودخانه‌ای

نام محقق	سال تحقیق	منطقه موردمطالعه	نتیجه تحقیق	نام محقق	سال تحقیق	منطقه موردمطالعه	نتیجه تحقیق
اوسکاین	۲۰۰۵	قزاقستان	کشف یخچال کوهستانی	بار و اسپاگنولو	۲۰۱۵	–	مورفومتری سیرک‌ها از طریق فراوانی توزیع سیرک و ارتفاع آن‌ها
میشل	۲۰۰۶	آمریکا	کشف یخچال کوهستانی	هنریکس	۲۰۱۵	اتیوپی	بررسی یخچال‌ها و ژئومورفولوژی مناطق مجاور یخچالی و اقلیم گذشته

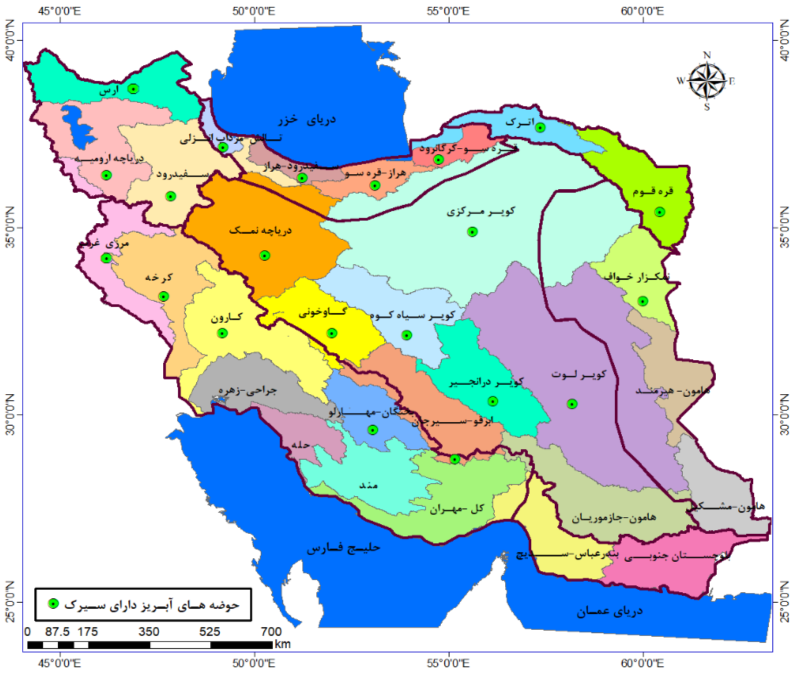
جدول ۲- نام محققین خارجی و ایرانی فعال درزمینه مطالعات یخچالی با ژئومورفولوژی یخچالی در ایران

نام محقق	سال تحقیق	منطقه موردمطالعه	نتیجه تحقیق
دومورگان	۱۹۸۰	اشترانکوه و قلیان کوه	مطالعه سیرک‌های یخچالی قدیمی
استهل	۱۹۱۲	ایران	تهیه نخستین مجموعه زمین‌شناسی و اظهار بی‌اطلاعی درباره یخبندان کواترنر
برادران مولر	۱۹۳۲	ایران	مطالعه یخچال علم‌کوه
نیر مایر	۱۹۳۳	ایران	وجود نشانه‌هایی از فعالیت یخچال‌ها در مناطق کوهستانی
هانس بوبک	۱۹۳۳	رشته‌کوه البرز و ارتفاعات کردستان	بررسی آثار یخبندان در دوره کواترنر و شناسایی یخچال‌های دوره سرد
دزیو	۱۹۳٤	زرد کوه بختیاری	مطالعه یخچال‌های گذشته
بوسک	۱۹۳٤	تخت سلیمان	نقشه‌برداری از ارتفاعات و یخچال‌های منطقه علم‌کوه
اهلرز	۱۹٦۰	ایران	پایین بودن ارتفاع برف مرز درگذشته
رایت	۱۹٦۲	مرز ایران و عراق	شناسایی سیرک‌های متعدد
شوایتزر	۱۹۷۰	کوه سبلان	شناسایی ۷ یخچال و چندطبقه برف دائمی
هاگه درن	۱۹۷٤	شیرکوه یزد	برآورد ارتفاع ٤۲۰۰ متری به‌عنوان ارتفاع برف مرز
کهل	۱۹۷٦	کوه جوپار کرمان	شناسایی آثار یخبندان کواترنری در دوره‌های ریس و وورم
کریستف پروی	۱۹۸۰	زرد کوه بختیاری	مشخص کردن حد پایین زبانه یخچالی
ژان درش	۱۹۸۲	علم‌کوه و تخت سلیمان	مطالعه یخچال
پدرامی	۱۹۸۲	مریوان و تهران	بررسی آثار یخچالی و فرسایش یخچالی
طاحونی	۱۳۸۳	ارتفاعات تالش	شناسایی دو سیستم فرسایش یخچالی و مجاور یخچالی کواترنری
یمانی و زمانی	۱۳۸٦	زرد کوه	شناسایی یخچال زرد کوه به‌عنوان وسیع‌ترین یخچال زاگرس
موسوی	۱۳۸٦	ایران	تقسیم‌بندی یخچال‌های ایران از نظر زمین‌شناسی
موسوی و همکاران	۱۳۸۷	زرد کوه	شناسایی ٥ منطقه یخچالی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای
جعفری	۱۳۸۸	ایران	تأثیر جهت شیب سطوح ارضی بر ارتفاع خط تعادل آب‌ویخ
قهرودی	۱۳۹۰	حوضه آبریز رود هراز	مطالعه برف مرز رد دوره یخچالی و بین یخچالی

نام محقق	سال تحقیق	منطقه موردمطالعه	نتیجه تحقیق
سرور و مجتهدی	۱۳۹۰	البرز مرکزی (خشچال)	شکل‌گیری یخچال توسط سه عامل زمین‌ساخت، ریخت‌شناسی و تغییرات آب و هوایی
قهرودی و حسنی	۱۳۹۱	کوه (قندیل) مرز ایران و عراق	مطالعه یخچال و برآورد ارتفاع برف مرز در آخرین دوره یخچالی
پاریزی و همکاران	۱۳۹۲	تنگوئیه سیرجان	مطالعه شواهد یخچال‌های کواترنر پایانی
سیف و ابراهیمی	۱۳۹۳	زرد کوه	مورفومتری سیرک‌های یخچالی
جعفربیگلو	۱۳۹۳	کوهستان بیدخوان کرمان	بررسی آثار یخچالی
شمسی‌پور و همکاران	۱۳۹٤	ارتفاعات قلاجه (زاگرس چین‌خورده)	اثبات حاکمیت قلمروهای یخچالی و مجاور یخچالی
سیف و همکاران	۱۳۹٤	زرد کوه	بازسازی برف مرز پلئیستوسن
شورستانی و همکاران	۱۳۹۵	ارتفاعات شمال شرق ایران (کوه بینالود)	بررسی شواهد ژئومورفولوژیکی یخچالی کواترنری
خوش‌رفتار و همکاران	۱۳۹۵	کوه شاه البرز (البرز غربی)	بررسی شواهد ژئومورفولوژیکی یخچال‌های کوهستانی
قهرودی و همکاران	۱۳۹٦	مرز ایران، ترکیه و عراق	شناسایی شواهد یخچالی در کوهستان‌های رندوله و بابوله
احمدآبادی و همکاران	۱۳۹۷	زردکوه	شاسایی سیرک‌های یخچالی با تاکید بر شواهد ژئومورفومتری
بهشتی جاوید و اسفندیاری	۱۳۹۷	کوه سبلان	شناسایی لندفرم های یخچالی کوه سبلان با استفاده از روششی گرا

۲- منطقه موردمطالعه

کشور ایران با وسعت ۱٦٤۸۱۹۵ کیلومترمربع، مابین ۲۵ تا ٤۰ درجه عرض شمالی و ٤٤ تا ٦۳ درجه طول شرقی واقع‌شـده اسـت. محدوده سیاسی ایران به ٦ واحد ژئومورفیکی (واحد زاگرس، واحد شمالی، واحد ایران مرکزی، واحد شرق، واحد شمال شرق و واحد شمال غرب) تقسیم‌شده است (طالقانی، ۱۳۹۱: ۲۱). کشور ایران به ٦ حوضه آبریز درجه ۱ و ۳۰ حوضه آبریز درجه ۲ تقسیم می‌شود (سالنامه آماری ایران، ۱۳۹۰). از ۳۰ حوضه آبریز درجه ۲، در ۲۱ زیرحوضه آثار سیرک‌های یخچالی کواترنری (٦ واحد ژئومورفیک) شناسایی شد (شکل ۱).



شکل ۱- موقعیت مکانی حوضه‌های آبریز و واحدهای ژئومورفیک ایران

۳- مواد و روش‌ها

بررسی ارتفاع برف مرز ایران، به‌صورت یک واحد پیوسته خالی از اشکال نیست، چراکه این کشور در ۱۵ درجه عرض جغرافیـایی و ۱۹ درجه طول جغرافیایی گســـترش دارد. علاوه بر آن امتداد ناهمواری‌ها در طول جغرافیایی (شمال آذربایجان شرقی، البرز، شمال خراسان) یا در عرض جغرافیایی (زاگرس، رشته‌کوه‌های ایران مرکزی، تالش)، گاهی چنان زیاد اســت که بررســی آن‌ها را به‌صــورت واحدهای ژئومورفیک نیز با مشــکل مواجه می‌نماید. بر این اساس، ابتدا تصمیم بر آن شد که ارتفاع برف مرز در ٦ حوضه آبریز درجه یک ایران برآورد گردد، ولی از این نظر نیز گسـترش طولی حوضه آبریز خزر یا طولی و عرضی حوضه آبریز ایران مرکزی، خلیج‌فارس و دریای عمان مانع از ارائه عدد واحدی برای ارتفاع برف مرز در هر حوضه آبریز شد؛ درنتیجه ارتفاع برف مرز در ۳۰ حوضه آبریز درجه ۲ برآورد گردید. به این منظور ابتدا DEM با رزولوشن ۳۰*۳۰ متر ایران از سایت USGS تهیه و در نرم‌افزار ARC GIS مرج گردید و برای هر حوضــه DEM مربوطه برش زده شــد. نقشه‌های مرج شده توپوگرافی ایران به مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ نیز برای هر حوضه استخراج گردید. بر اساس اسناد موجود در نقشه‌های توپوگرافی، خطوط تراز ۲۰ متری و انعکاس لندفرم‌ها در تصاویر ماهواره‌ایSRTM& Google Earth، سیرک‌های هر حوضه شناسایی شد. در قدم بعد، با توجه به روش نسبت پنجه به دیواره، داده‌های آن دسته از سیرک‌های شناسایی‌شده که نیمرخ طولی مقعر نداشتند از داده‌های جمع‌آوری‌شــده حذف شــد. بر این اساس از ۳۰ حوضه آبریز درجه ۲ ایران، ۲۱ حوضه، به‌احتمال‌قوی در

دوره‌های سـرد کواترنری تحت تأثیر فرایند یخچالی قرار داشته‌اند. ارتفاع برف مرز به روش‌های رایت، ارتفاع کف سـیرک پورتر محاسـبه شـد. جهت کلی سـیرک‌های شـناسایی‌شده با توجه به امتداد ناهمواری‌ها مشخص گردید؛ به‌عنوان‌مثال اگر خط‌الرأس امتدادی شـمال غرب – جنوب شـرق داشـت (زاگرس) جهت سـیرک شمال شرقی یا جنوب غربی در نظر گرفته شـد، یا امتداد شمالی – جنوبی تالش باعث شکل‌گیری سیرک‌ها در دامنه‌های شرقی یا غربی می‌شـود. علاوه بر آن با توجه به نقشـه‌های جهت شـیب و گرفتن نمونه از نقاط سیرکی، جهت محل سیرک برآورد شـد. جهات جغرافیایی سـیرک‌ها در ۸ جهت اصـلی و فرعی طبقه‌بندی گردید. در اینجا شرح مختصری از روش‌های برآورد ارتفاع برف مرز ارائه می‌شود.

روش رایت

در روش رایت با تعیین مکان سیرک‌ها و گذراندن خط ٦٠ درصد از آن، برف مرز دائمی تعیین می‌شود (جعفربیگلو، ۱۳۹۳). در این روش بر روی سیرک‌های شناسایی شد، رابطه (۱) اعمال شد.

رابطه (۱)	$X= (Hmax-Hmin)/۱۰۰*٦۰ \qquad R=Hmin+X$

که X تفاوت ارتفاع برف مرز دائمی از ارتفاع پایین‌ترین سـیرک شـناسـایی‌شده، Hmax بالاترین ارتفاع سیرک، Hmin پایین‌ترین ارتفاع سیرک و R ارتفاع برف مرز است (قهرودی، ۱۳۹۵).

روش پورتر

از نظر پورتر (۲۰۰۱) یخچـال زمانی سـیرک را پر می‌کند که خط برف مرز خیلی بالاتر از میانگین ارتفاع کف سیرک نباشد، این روش برای به دست آوردن ارتفاع خط تعادل‌های گذشته است (رابطه ۲).

رابطه (۲)	$$Mo = L + h*\frac{d1}{d1+d2}$$

که Mo ارتفاع کف سیرک، L حد پایین طبقه نمادار، d1 تفاضل فراوانی طبقه ماقبل طبقه نمادار از فراوانی طبقه نمادار، d2 تفاضل فراوانی طبقه مابعد طبقه نمادار از فراوانی طبقه نمادار و h اختلاف ارتفاع طبقه نمادار است (سیف، ۱۳۹٤).

ارتفاع برف مرز به روش نسبت‌های ارتفاعی

درروش ارتفاع کف سیرک، نیمرخ طولی سیرک در دو شکل مختلف ترسیم گردید: یکی پروفیل طولی از بالاترین ستیغ حوضه تا نقطه خروجی سیرک و دیگری پروفیلی از بالاترین ستیغ حوضه تا اولین مورن های میانی باقی‌مانده در محیط (محل تلاقی دوزبانه یخچالی). در این دو پروفیل، ارتفاع حداکثر و حداقل پروفیل و ارتفاع کف سیرک برآورد گردید. در ترسیم پروفیل‌ها نهایت دقت شد که پروفیل مای از کف سیرک عبور کنند و حالت تقعر را بتواند نشان دهد.

در این روش، از راه میانگین محدوده ارتفاعی پایانه زبانه یخچالی و بلندترین ستیغ حوضه یا منطقه موردنظر، ارتفاع برف مرز مشخص می‌شود (رابطه ۳).

رابطه (۳) $AR=\frac{Ah+At}{2}$

که AR ارتفاع برف مرز، Ah بالاترین ارتفاع سیرک و At پایین‌ترین ارتفاع سیرک است (شریفی،۱۳۹٤).

روش نسبت پنجه به دیواره

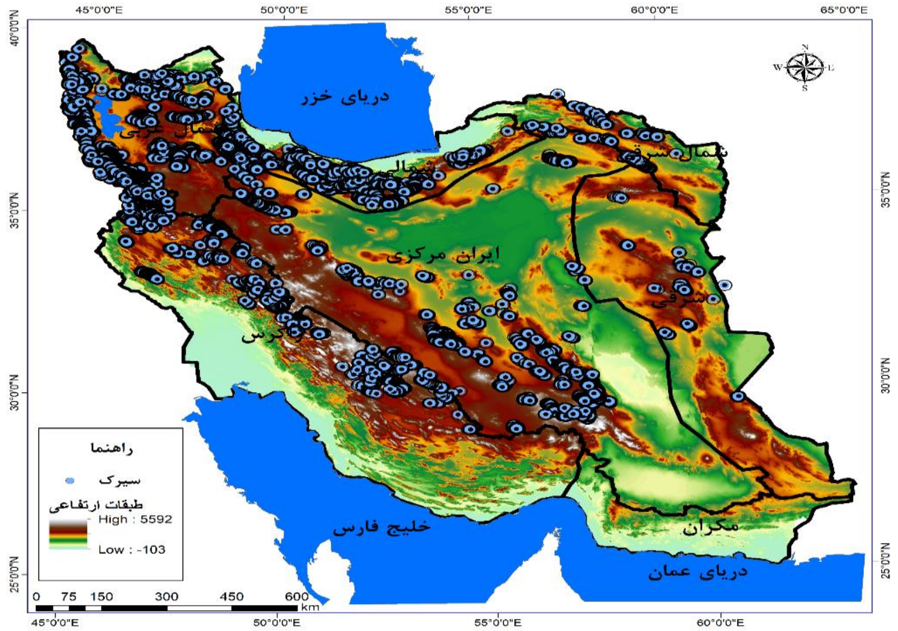
با استفاده از روش نسبت پنجه به دیواره ارتفاع خط تعادل (ELA) و نسبت THAR به دست می‌آید. با روش THAR بهترین نتیجه برای یخچال‌های کوچک و متقارن با توزیع نرمال پهنه‌ها و ارتفاعات به دست می‌آید. نسبت THAR بین ۰ تا ۱ است. برای شناسایی سیرک‌ها نیز از این روش استفاده می‌شود و اگر نسبت THAR کمتر از ۰,٤٦ یا بزرگ‌تر از ۰,۸٦ باشد، شکل شناسایی‌شده، سیرک محسوب نمی‌شود (رابطه ٤) (یمانی و مقیمی، ۱۳۹۲).

رابطه (٤) $THAR= (ELA – AT) / (AH – AT)$

که ELA ارتفاع خط تعادل، AH بیش‌ترین ارتفاع، AT کمترین ارتفاع است.

٤- بحث و نتایج

سیرک‌های یخچالی، لندفرم‌هایی به شکل مقعر هستند که در یخچال‌های کوهستانی شکل‌گرفته‌اند (اوانز، ۲۰۰٦). با توجه به فرم و ارتفاع خطوط منحنی میزان، وضعیت آبراهه‌ها و ارتفاع قله‌های مسلط به سیرک، ۱۱٦٤۱ سیرک در ایران شناسایی شد (شکل ۲). در بسیاری از حوضه‌های واحدهای ژئومورفیک جهت شیب سطوح ارضی در تعداد سیرک‌ها اثر گذاشته است؛ به‌طوری‌که در کل ایران بیش از ٦۰ درصد سیرک‌ها در دامنه‌هایی شکل‌گرفته‌اند که شیب سطوح ارضی آن‌ها متمایل به شمال هست. این‌گونه دامنه‌ها با توجه به تمایل بیشتر زاویه خورشیدی، دامنه‌های نسار شناخته‌شده‌اند (جدول ٦). بعد از شناسایی سیرک‌ها، به روش‌های ذکرشده، ارتفاع برف مرز برآورد گردید.



شکل۲- موقعیت مکانی سیرک‌های شناسایی شده در ایران

جدول ٦- فراوانی سیرک در جهات مختلف جغرافیایی در واحدهای ژئومورفیک

واحد ژئومورفیک	فراوانی کل	جهت	فراوانی در جهت	درصد فراوانی در جهت
ایران مرکزی	۲٦۱۵	شمال	۲۷۰	۱۰
		جنوب	۱٦٦	٦
		شمال شرق	۱۲۸٦	٤۹
		جنوب غرب	۸۹۳	۳٤
شمال	۱۹٤۸	شرق	۵۳	۳
		شمال	۱۱۷٦	٦۰
		جنوب	۷۱۹	۳۷
زاگرس	۱۵۰٦	شمال شرق	۹۲۲	٦۱
		جنوب غرب	۵۸٤	۳۹
شمال غرب	۲۷۲۰	شمال	٦۳۳	۲۳
		جنوب	۹۹	٤
		شمال شرق	۲۸٦	۱۰
شمال شرق	۱۱۲	شمال	۲۹	۲٤
		جنوب	۵۱	٤۲
		شمال شرق	۲٦	۲۱
		جنوب غرب	۱٦	۱۳

واحد ژئومورفیک	فراوانی کل	جهت	فراوانی در جهت	درصد فراوانی در جهت
شرق	١٦	شمال شرق	١٠	٦٢/٥
		جنوب غرب	٦	٣٧/٥

ارتفاع برف مرز به روش رایت در جهات مختلف ناهمواری

بعد از شـناسایی آثار سیرکی به کمک نقشه‌های توپوگرافی و تصاویر ماهواره‌ای و پس از تفکیک سیرک‌ها در هشت جهت اصلی (شمال، جنوب، شرق، غرب) و فرعی (شمال شرق، جنوب غرب، شمال غرب، جنوب شرق) در حوضــه‌های آبریز طبق رابطه (۱) ارتفاع برف مرز برآورد گردید. مقایســه تفاوت ارتفاع برف مرز در جهت‌های مختلف به روش رایت حاکی از آن است که بیشترین تفاوت در حوضه‌های دریاچه نمک (٤٤٩ متر) و ارس (٤٤٠ متر) برآورد شده است. کمترین تفاوت ارتفاع در حوضه‌های آبریز هراز– قره‌سو (٥٥١– متر) و کویر درانجیر (٣٥٠– متر) بوده است و در ۳ حوضه آبریز هیچ‌گونه تفاوتی در ارتفاع برف مرز در جهات مختلف وجود نداشته است. عدم تفاوت ارتفاع برف مرز در حوضـه‌های آبریز حاکی از آن است که نحوه پراکندگی ناهمواری‌ها به‌گونه‌ای است که جهت کمترین اثر را بر ارتفاع برف مرز گذاشته است. هرچه جهت اثر بیشتری بر ارتفاع برف مرز داشته باشد، تفاوت ارتفاع برف مرز نیز بیشتر برآورد می‌گردد. چنان چه در واحدهای ژئومورفیک شمال غرب (۲۸۳ متر)، ایران مرکزی (۲۳۱ متر) بیش‌ترین تأثیر جهت ناهمواری‌ها در ارتفاع برف مرز دیده می‌شود و واحد ژئومورفیک زاگرس کمترین اثر را از تغییر جهت ناهمواری‌ها پذیرفته‌اند (جدول ۷).

جدول ۷– ارتفاع برف مرز به روش رایت (رابطه ۲) در جهات مختلف ناهمواری‌ها

واحد ژئومورفیک	حوضه آبریز	R=Hmin+X							X=(Hmax-Hmin)/۱۰۰*٦۰	Δh
		N	S	NE	SW	E	W	NW	SE	
ایران مرکزی	گاوخونی	-	-	۲۹۰٤	۳۱۰۸	-	-	-	-	۲۰٤
	کویر لوت	-	-	۳٤٤۸	۳٥۳۰	-	-	-	-	۸۲
	کویر درانجیر	۳٤٤۹	۳۰۹۹	-	-	-	-	-	-	‎-۳٥۰
	کویر سیاه کوه	-	-	۲۸۹۱	۳۰٥٦	-	-	-	-	۱٦٥
	ابرقو– سیرجان	-	-	۲۹۲۷	۳۱٦۷	-	-	-	-	۲٤۰
	دریاچه نمک	-	-	۲۸۳۷	۳۳۳٦	-	-	-	-	٤٤۹
شمال	تالش–مرداب انزلی	-	-	-	-	۲۲۰۲	-	-	-	۰
	سفیدرود–هراز	۳٤۲۸	۳۰۸۰	-	-	-	-	-	-	‎-۳٤۸
	هراز– قره‌سو	۳۲٦۱	۲۷۱۰	-	-	-	-	-	-	‎-٥٥۱
	قره‌سو–گرگان رود	۲٥۷۲	–	-	-	-	-	-	-	۰
	کویر مرکزی	۲۸۱۹	۲۸۰۲	-	-	-	-	-	-	‎-۱۷

Δh	X=(Hmax-Hmin)/۱۰۰*٦۰ R=Hmin+X								حوضه آبریز	واحد ژئومورفیک
	SE	NW	W	E	SW	NE	S	N		
۷۰	-	-	-	-	۲۸۷۹	۲۸۰۹	-	-	کرخه	زاگرس
-۲۸۲	-	-	-	-	۲۸۸٤	۳۱٦٦	-	-	کارون	
-٦٦	-	-	-	-	۲٤۱٤	۲٤۸۰	-	-	مرزی غرب	
۰	-	-	-	-	-	۲۹۸٤	-	-	بختگان-مهارلو	
٤٤۰	-	-	-	۲۹۲٥	-	-	-	۲٤۸٥	ارس	شمال غرب
۲۸۰	-	-	-	۲٦۱٤	۳۱۲۷	۲۸۲٥	۲۸۷۲	-	سفیدرود	
۱۲۹/٥	-	-	۲۹۲۲	۲٦۳۷	-	-	۲٥۸۱	۲٦۰۷	دریاچه ارومیه	
۲۷٦	-	-	-	-	-	-	۲٤۸٤	۲۲۰۸	اترک	شمال شرق
-٥۰	-	-	-	-	۲٦۱٦	۲٦٦٦	-	-	قره‌قوم	
-٤٥	-	-	-	-	۲٥۲۰	۲٥٦٥	-	-	نمکزار خواف	شرق

ارتفاع برف مرز به روش ارتفاع کف سیرک پورتر

در این روش ابتدا سیرک‌ها از نظر ارتفاعی بافاصله ۱۰۰ متر طبقه‌بندی شد و فراوانی نسبی سیرک در هرکدام از طبقات مشخص گردید. ارتفاع برف مرز دائمی کواترنری در طبقه‌ای قرار دارد که سیرک‌ها بیشترین فراوانی را داشته باشد. با مشخص کردن طبقه نمادار، طبق رابطه (۳) عمل شد. مقایسه ارتفاع برف مرز برآورد شده به روش ارتفاع کف سیرک پورتر در جهات مختلف حاکی از آن است که حوضه‌های آبریز ارس (۷٦۱ متر)، سفیدرود (٦۰۲ متر) و کویر مرکزی (۳٥۰ متر) بیش‌ترین تفاوت را در جهات مختلف داشته‌اند. مقایسه واحدهای ژئومورفیک از این نظر حاکی از آن است که همانند روش رایت، واحد شمال غرب (٤۷٤ متر) بیش‌ترین تفاوت ارتفاع برف مرز در جهات مختلف داشته است (جدول ۸).

جدول ۸- ارتفاع برف مرز به روش ارتفاع کف سیرک در جهات مختلف ناهمواری‌ها

Δh	$Mo = L + \frac{d1}{d1+d2} \times h$								حوضه آبریز	واحد ژئومورفیک
	SE	NW	W	E	SW	NE	S	N		
۱٦	-	-	-	–	۲۷٦٦	۲۷٥۰	–	–	گاوخونی	ایران مرکزی
۲٦	-	-	-	–	۲۹٦٦	۲۹٤۰	–	–	کویر لوت	
-۱۲٥	-	-	-	–	–	–	۳۰۳۳	۳۱٥۸	کویر درانجیر	
٥۱۲	-	-	-	–	۳۰٦۲	۲٥٥۰	–	–	کویر سیاه کوه	
۱۱۸	-	-	-	–	۳۰۰٦	۲۸۸۸	–	–	ابرقو- سیرجان	
۳۳	-	-	-	–	۲۷٦٦	۲۷۳۳	–	–	دریاچه نمک	
۰	-	-	-	۱۹٦٤	–	–	-	-	تالش-مرداب انزلی	شمال

Δh	$Mo = L + \frac{d1}{d1+d2} \times h$								حوضه آبریز	واحد ژئومورفیک
	SE	NW	W	E	SW	NE	S	N		
۳۲۵	-	-	-	–	–	–	۳۱۵۰	۲۸۲۵	سفیدرود-هراز	
-۷	-	-	-	–	–	–	۲۹۵۷	۲۹٦٤	هراز- قره‌سو	
۰	-	-	-	–	–	–	۰	۲۵٦۵	قره‌سو-گرگان رود	
۳۵۰	-	-	-	–	–		۲۸۵۰	۲۵۰۰	کویر مرکزی	
-٦۸۷	-	-	-	–	۲۳٦۷	۳۰۵٤	-	-	کرخه	زاگرس
۳۰۲	-	-	-	–	۳۱۵۵	۲۸۵۳	-	-	کارون	
-۲۹۱	-	-	-	–	۲۱٤۲	۲٤۳۳	-	-	مرزی غرب	
۰	-	-	-	–	–	۲۹۱٦	-	-	بختگان-مهارلو	
۷٦۱	-	-	-	۲۸۳٤	–	–	–	۲۰۷۳	ارس	شمال غرب
٦۰۲	-	-	-	۲٦۱٦	۳۱۵۳	۲۱۵۳	۲۸۲۰	–	سفیدرود	
۲٦۳/۵	-	-	۳۰۵۵	۲۱۲۸	–	–	۲٤۵۰	۲۸۵۰	دریاچه ارومیه	
۲	-	-	-	–	–	–	۲۲۲۰	۲۲۱۸	اترک	شمال شرق
۱٤۰	-	-	-	–	۲٦٤۰	۲۵۰۰	–	–	قره‌قوم	
-۲۲	-	-	-	–	۲۵۱۳	۲۵۳۵	–	–	نمکزار خواف	شرق

ارتفاع برف مرز به روش نسبت پنجه به دیواره

برآورد ارتفاع برف مرز به روش نسبت پنجه به دیواره در دو مرحله انجام شد.

مرحله اول

در این مرحله از اطلاعات پروفیل‌های تهیه‌شده در مرحله قبل، علاوه بر ارتفاع کف سیرک، ارتفاع پایین‌ترین و بالاترین قسمت پروفیل نیز استخراج گردید. پس از برداشت اطلاعات لازم، نسبتTHAR برای هرکدام از سیرک‌ها محاسبه شد. به این صورت که ارتفاع پایین‌ترین قسمت پروفیل از ارتفاع کف سیرک کسر شد و عدد به‌دست‌آمده بر تفاوت بین حداقل ارتفاع و حداکثر ارتفاع پروفیل تقسیم شد. نسبت به‌دست‌آمده بین ۰ تا ۱ متغیر است. سیرک‌هایی که نسبت به‌دست‌آمده برای آن‌ها پایین‌تر از ۰/٤٦ و یا بالاتر از ۰/۸٦ است، سیرک محسوب نمی‌شوند و در برآورد ارتفاع برف مرز مدنظر قرار نمی‌گیرند (پورتر، ۲۰۰۱). پس از خارج کردن اطلاعات آن‌ها از جدول، ارتفاع برف مرز همانند روش رایت و روش ارتفاع کف سیرک پورتر (مد یا نما) برآورد شد. در واحد ژئومورفیک ایران مرکزی، اختلاف ارتفاع برف مرز در جهت شمال– جنوب، ۳۲٦ متر و ۲۸۷ متر در جهت‌های شمال شرق– جنوب غرب، محاسبه شد. جهت شمال شرق– جنوب غرب در حوضه گاوخونی با ۵۹- متر و حوضه آبریز دریاچه نمک با ٤۸۳ متر کمترین و بیشترین اختلاف ارتفاع برف مرز را نشان دادند. در واحد ژئومورفیک شمالی، ارتفاع برف مرز در جهت‌های شمال– جنوب، ۲۵۲ متر تفاوت داشت. این تفاوت ارتفاعی در جهت‌های شرق – غرب این واحد و در

حوضه آبریز تالش– مرداب انزلی (شرق– غرب)، حوضه آبریز قره‌سو– گرگان رود (شمال– جنوب) صفر بود. در جهت شمال – جنوب حوضه آبریز هراز – قره‌سو ۹۷- متر و قسمت‌های شمالی حوضه آبریز کویر مرکزی ۵٦۷ متر کمترین و بیشترین اختلاف ارتفاع در برف مرز برآورد گردید. در واحد ژئومورفیک زاگرس، اختلاف ارتفاع برف مرز در بین سیرک‌های شناسایی‌شده در جهت‌های شمال شرق– جنوب غرب، ۹۱ متر محاسبه گردید. حوضه آبریز کارون با اختلاف ٤۳ متر و حوضه آبریز مرزی غرب ۳۱۸- متر کمترین اختلاف برف مرز را داشته‌اند. در واحد ژئومورفیک شمال غرب، اختلاف ارتفاع برف مرز در جهت شمال شرق – جنوب غرب، ۲۷۳ متر و در جهت شمال – جنوب، ۲۸ متر برآورد گردید. جهت شمال – جنوب در حوضه آبریز دریاچه ارومیه با ۲۸ متر و شمال شرق – جنوب غرب در حوضه آبریز سفیدرود با ۲۷۳ متر کمترین و بیشترین اختلاف ارتفاع برف مرز را به خود اختصاص داده‌اند. در واحد ژئومورفیک شمال شرق، اختلاف ارتفاع برف مرز در جهت شمال– جنوب (حوضه آبریز اترک) ۱۵ متر و در جهت شمال شرق– جنوب غرب (حوضه آبریز قره‌قوم) ٢٦- متر برآورد گردید. در واحد ژئومورفیک شرق، اختلاف ارتفاع برف مرز در جهت شمال شرق– جنوب غرب، ٦۹ متر بوده است (جدول ۹).

جدول ۹- ارتفاع برف مرز به روش نسبت پنجه به دیواره با اعمال روش رایت

واحد ژئومورفیک	حوضه آبریز	THAR=(ELA-AT)/(AH-AT)								Δh
		N	S	NE	SW	E	W	NW	SE	
ایران مرکزی	گاوخونی	–	–	۲۸۳۱	۲۷۷۲	–	-	-	-	-۵۹
	کویر لوت	–	–	۲۵۱۳	۳۰۸۰	–	-	-	-	۵٦۷
	کویر درانجیر	۳۲٦۱	۲۹۳٦	–	–	–	-	-	-	۳۲٦
	کویر سیاه کوه	–	–	۲۷۵۰	۲۸٦۵	–	-	-	-	۱۱۵
	ابرقو– سیرجان	–	–	۲٦۵۸	۳۰٤۲	–	-	-	-	۳۸٤
	دریاچه نمک	–	–	۲۵۷۳	۳۰۵٦	–	-	-	-	٤۸۳
شمال	تالش–مرداب انزلی	-	-	–	–	۲۰۱۸	-	-	-	۰
	سفیدرود–هراز	۲۸۳۵	۳۱۲۱	–	–	–	-	-	-	۲۸٦
	هراز– قره‌سو	۲۸۱۳	۲۷۱٦	–	–	–	-	-	-	-۹۷
	قره‌سو–گرگان رود	۲٤۹۱	–	–	–	–	-	-	-	۰
	کویر مرکزی	۲۵۱۳	۳۰۸۰		–	–	-	-	-	۵٦۷
زاگرس	کرخه	-	-	۲٤۲۵	۲۵۷۷	–	-	-	-	۱۵۲
	کارون	-	-	۲۸۷۰	۲۹۱۳	–	-	-	-	٤۳
	مرزی غرب	-	-	۲٤٤۳	۲۱۲۵	–	-	-	-	-۳۱۸
	بختگان–مهارلو	-	-	۲۷۸۰	–	–	-	-	-	۰
شمال غرب	ارس	۲۱٤۸	–	–	–	۲۷٤٤	-	-	-	۵۹٦
	سفیدرود	–	۲۵۲۸	۲۲۹٤	۲۵٦۷	۲٦۰۳	-	-	-	۹۹

واحد ژئومورفیک	حوضه آبریز	THAR=(ELA-AT)/(AH-AT)								Δh
		N	S	NE	SW	E	W	NW	SE	
	دریاچه ارومیه	٢٦٥٥	٢٤٧٢	–	–	٢١٩٧	٢٦٥٠	-	-	١٣٥
شمال شرق	اترک	٢٢٣٣	٢٢٤٨			–	-	-	-	١٥
	قره‌قوم	–	–	٢٥٣٠	٢٥٠٤	–	-	-	-	–٢٦
شرق	نمکزار خواف	–	–	٢٥٤٤	٢٤٧٥	–	-	-	-	٦٩

مرحله دوم

تفاوت این مرحله با مرحله قبلی در این است که در این مرحله همانند روش ارتفاع کف سیرک پورتر ارتفاع برف مرز برآورد شده است. در واحد ژئومورفیک ایران مرکزی، اختلاف ارتفاع برف مرز در جهت شمال– جنوب، ٣٦ متر و ١٣٥ متر در جهت شمال شرق– جنوب غرب، برآورد گردید. جهت شمال شرق– جنوب غرب در حوضه آبریز کویر سیاه کوه با ١٩– متر و حوضه آبریز دریاچه نمک با ٥٨٧ متر کمترین و بیشترین اختلاف ارتفاع برف مرز را نشان دادند. در واحد ژئومورفیک شمالی، اختلاف ارتفاع برف مرز در جهت‌های شمال– جنوب، ١١١ متر و در جهت شرق – غرب کل واحد و در حوضه آبریز تالش– مرداب انزلی (شرق– غرب)، حوضه آبریز قره‌سو– گرگان رود (شمال– جنوب) تفاوت ارتفاعی صفر است. در جهت شمال – جنوب در حوضه آبریز قره– سو گرگان رود با ٢١٦– متر و قسمت‌های شمالی حوضه آبریز کویر مرکزی با ٣٨٤ متر کمترین و بیشترین اختلاف ارتفاع برف مرز برآورد گردید. در واحد ژئومورفیک زاگرس، اختلاف ارتفاع برف مرز در بین سیرک‌های شناسایی‌شده در جهت‌های شمال شرق– جنوب غرب، ٢٢٧– متر برآورد گردید. حوضه آبریز مرزی غرب با اختلاف ٢٧٦– متر و حوضه آبریز کرخه با اختلاف ٧٠٤– متر، کمترین اختلاف برف مرز را داشته‌اند. در واحد ژئومورفیک شمال غرب، بیش‌ترین اختلاف ارتفاع برف مرز در جهت شمال شرق – جنوب غرب، ٨٠٢ متر و کمترین اختلاف در جهت شمال – جنوب، ١٨٦ متر برآورد گردید. در حوضه آبریز دریاچه ارومیه، جهت شمال – جنوب با ١٨٨ متر و جهت شرق – غرب با ٨٩٢ متر کمترین و بیشترین اختلاف ارتفاع برف مرز را به خود اختصاص دادند. در واحد ژئومورفیک شمال شرق، کمترین اختلاف ارتفاع برف مرز در جهت‌های شمال– جنوب (حوضه آبریز قره‌قوم) ١٠– متر و بیشترین اختلاف ارتفاع برف مرز در جهت شمال شرق– جنوب غرب (حوضه آبریز اترک) ٤٦٠ متر برآورد گردید و درنهایت در واحد ژئومورفیک شرق، اختلاف ارتفاع برف مرز در بین سیرک‌های شناسایی‌شده در جهت شمال شرق–جنوب غرب، ٨١– متر بوده است (جدول ١٠).

جدول ۱۰- ارتفاع برف مرز به روش نسبت پنجه به دیواره با اعمال روش پورتر

واحد ژئومورفیک	حوضه آبریز	THAR=(ELA-AT)/(AH-AT)								Δh
		N	S	NE	SW	E	W	NW	SE	
ایران مرکزی	گاوخونی	–	–	۲۸۰۰	۲۸٦٦	–	-	-	-	٦٦
	کویر لوت	–	–	۳۰۰٦	۲۹۳۳	–	-	-	-	-۷۳
	کویر درانجیر	۳۱۱٤	۳۱۵۰	–	–	–	-	-	-	۳٦
	کویر سیاه کوه	–	–	۲۷۵٤	۲۷۳۳	–	-	-	-	-۱۹
	ابرقو- سیرجان	–	–	۲۹٦۲	۳۰۸۰	–	-	-	-	۱۱۸
	دریاچه نمک	–	–	۲٤۵۰	۳۰۳۷	–	-	-	-	۵۸۷
شمال	تالش-مرداب انزلی	-	-	–	–	۱۹۱٤	-	-	-	۰
	سفیدرود-هراز	۲۹۵۷	۳۱۲۱	–	–	–	-	-	-	۱٦٤
	هراز- قره‌سو	۲۷٦٦	۲۵۵۰	–	–	–	-	-	-	-۲۱٦
	قره‌سو-گرگان رود	۲٤۹۱	۰	–	–	–	-	-	-	۰
	کویر مرکزی	۲٤٦٦	۲۸۵۰		–	–	-	-	-	۳۸٤
زاگرس	کرخه	-	-	۳۰۳۷	۲۳۳۳	–	-	-	-	-۷۰٤
	کارون	-	-	۲۸۵۰	۳۱۵۰	–	-	-	-	۳۰۰
	مرزی غرب	-	-	۲٤٤۲	۲۱٦٦	–	-	-	-	-۲۷٦
	بختگان-مهارلو	-	-	۲۹۸۳	۰	–	-	-	-	۰
شمال غرب	ارس	۲۰۲۸	–	–	–	۲۷۷۰	-	-	-	۷٤۲
	سفیدرود	–	۲۵۵۰	۲۳٤۲	۳۱٤٤	۲۸٦٦	-	-	-	۲٤۳
	دریاچه ارومیه	۲۸۵۰	۲٦٦۲	–	–	۲۱۵۰	۳۰٤۲	-	-	۳۵۲
شمال شرق	اترک	۲۲٦۰	۲٦۰۰			–	-	-	-	٤٦۰
	قره‌قوم	–	–	۲٦٦۰	۲٦۵۰	–	-	-	-	-۱۰
شرق	نمکزار خواف	–	–	۲۵۵٦	۲٤۷۵	–	-	-	-	-۸۱

ارتفاع برف مرز به روش نسبت‌های ارتفاعی

در این مرحله پایین‌ترین ارتفاع با بالاترین ارتفاع پروفیل ترسیمی جمع و بر ۲ تقسیم گردید. برای به دست آوردن برف مرز از میانگین و مد استفاده شد. در واحد ژئومورفیک ایران مرکزی، کمترین اختلاف ارتفاع برف مرز در جهت شمال– جنوب، ۲۸۰– متر و بیشترین اختلاف ارتفاع برف مرز ٦۵۷ متر در جهت‌های شمال شرق– جنوب غرب، محاسبه شد. جهت شمال شرق– جنوب غرب در حوضه گاوخونی با ۱۳۳– متر و حوضه آبریز دریاچه نمک با ٦۵۷ متر کمترین و بیشترین اختلاف ارتفاع برف مرز را نشان دادند. در واحد ژئومورفیک شمالی، ارتفاع برف مرز در جهت‌های شمال– جنوب، ۲٦۳ متر تفاوت داشت. در جهت شمال –جنوب در حوضه آبریز هراز – قره‌سو با ۱۲۵ متر و قسمت‌های شمالی حوضه آبریز کویر مرکزی با ٤۲۱ متر کمترین و بیشترین اختلاف ارتفاع در برف مرز برآورد

گردید. در واحد ژئومورفیک زاگرس، اختلاف ارتفاع برف مرز در بین سیرک‌های شناسایی‌شده در جهت‌های شمال شرق– جنوب غرب، ۳۹۳ متر محاسبه گردید. حوضه آبریز کارون با اختلاف ٤۲۵ متر و حوضه آبریز کرخه ٦٤۷ متر، در واحد زاگرس کمترین و بیشــترین اختلاف برف مرز را داشــته‌اند. در واحد ژئومورفیک شــمال غرب، بیش‌ترین اختلاف ارتفاع برف مرز در جهت شــمال شرق – جنوب غرب، ۸۹۹ متر و کمترین آن در جهت شمال – جنوب، ۲۰۰– متر برآورد گردید. جهت شمال – جنوب در حوضه آبریز دریاچه ارومیه با ۱۵– متر و شمال شرق – جنوب غرب در حوضــه آبریز ارس با ۷۰۷ متر کمترین و بیشترین اختلاف ارتفاع برف مرز را به خود اختصاص دادند. در واحد ژئومورفیک شــمال شرق، کمترین اختلاف ارتفاع برف مرز در جهت شمال– جنوب (حوضه آبریز اترک) ۲۳ متر و بیشترین اختلاف ارتفاع برف مرز در جهت شمال شرق– جنوب غرب (حوضه آبریز قره‌قوم) ٦۳– متر برآورد گردید و در واحد ژئومورفیک شرق، در حوضه آبریز نمکزار خواف، اختلاف ارتفاع برف مرز در جهت شمال شرق– جنوب غرب، ٤۷– متر بوده است (جدول ۱۱).

جدول ۱۱- ارتفاع برف مرز به روش نسبت‌های ارتفاعی

واحد ژئومورفیک	حوضه آبریز	R= (AH+AT)/2								Δh
		N	S	NE	SW	E	W	NW	SE	
ایران مرکزی	گاوخونی	–	–	۲۸٦۷	۲۷٤۳	–	-	-	-	۱۳۳
	کویر لوت	–	–	۲۸٦۷	۳۱۳۳	–	-	-	-	۲٦٦
	کویر درانجیر	۳۱۳۰	۲۸۵۰	–	–	–	-	-	-	۲۸۰
	کویر سیاه کوه	–	–	۳۰۷۱	۲۷۵۰	–	-	-	-	-۳۲۱
	ابرقو– سیرجان	–	–	۲۹٦۷	۳۱۸۰	–	-	-	-	۲۱۳
	دریاچه نمک	–	–	۲٤۱۰	۳۰٦۷	–	-	-	-	٦۵۷
شمال	تالش–مرداب انزلی	-	-	–	–	۲۰۳۳	-	-	-	۰
	سفیدرود–هراز	۲۸۲۵	۳۰٦۸	–	–	–	-	-	-	۲٤۳
	هراز– قره‌سو	۲۷۵۰	۲۸۵۷	–	–	–	-	-	-	۱۲۵
	قره‌سو–گرگان رود	۲٤٦۰	۰	–	–	–	-	-	-	۰
	کویر مرکزی	۲٤۵٤	۲۸۷۵		–	–	-	-	-	٤۲۱
زاگرس	کرخه	-	-	۲۱۲۰	۲۷٦۷	–	-	-	-	٦٤۷
	کارون	-	-	۲۷۲۵	۳۱۵۰	–	-	-	-	٤۲۵
	مرزی غرب	-	-	۲۰۵۰	۲۵۵۰	–	-	-	-	۵۰۰
	بختگان–مهارلو	-	-	۲۷۵۰		–	-	-	-	۰
شمال غرب	ارس	۲۰۳٦	–	–	–	۲۷٤۳	-	-	-	۷۰۷
	سفیدرود	–	۲۲۵۰	۲۱۵۵	۳۰۵٤	۲٤۷٦	-	-	-	۳۳٦
	دریاچه ارومیه	۲۷۸۰	۲۵۸۰	–	–	۲۲۵۰	۲٤۲۰	-	-	-۱۵

واحد ژئومورفیک	حوضه آبریز	R= (AH+AT)/2								Δh
		N	S	NE	SW	E	W	NW	SE	
شمال شرق	اترک	۲۲۶۶	۲۲۸۹	–	–	–	-	-	-	۲۳
	قره‌قوم	–	–	۲۵۶۲	۲۵۰۰	–	-	-	-	-۶۲
شرق	نمکزار خواف	–	–	۲۵۵۶	۲۵۰۹	–	-	-	-	-۴۷

تحلیل ارتفاع برف مرز به روش‌های مختلف در واحدهای ژئومورفیک

مقایســه ارتفاع برف مرز برآورد شده به روش‌های مختلف در واحدهای ژئومورفیک دال بر این است که روش رایت در واحدهای ژئومورفیک زاگرس، شمال، ایران مرکزی و شمال غرب با روش‌های ارتفاع کف سیرک پورتر، نسبت پنجه به دیواره (رایت و پورتر) و نسبت‌های ارتفاعی همخوانی ندارد و به‌طور متوسط ۲۰۰ متر بالاتر از آن‌ها برآورد شده است، درصورتی‌که در ارتفاع برف مرز برآورد شده واحدهای ژئومورفیک شرق و شمال شرق تفاوت چندانی با سایر روش‌ها ندارد. بر این اساس در واحدهای ژئومورفیکی که ارتفاع برآورد شده به روش رایت بیشتر از ارتفاع برآوردی در سایر روش‌ها بود، روش رایت در بررسی نهایی مدنظر قرار نگرفت. برای واحدهای ژئومورفیک شرق و شمال شرق در همه روش‌ها و برای سایر واحدها میانگین و انحراف معیار برآورد گردید. ارتفاعی که منطبق بر میــانگین بود یا اختلاف کمتری از میانگین داشـــت، به‌عنوان روش برآورد ارتفاع برف مرز آن واحد ژئومورفیک معرفی گردید. نکته مهم دیگری که در انتخاب روش مناسب برای برآورد ارتفاع برف مرز دائمی در مناطق مختلف مدنظر قرار گرفت، تفاوت ارتفاع برف مرز دامنه‌های نسار از نگار بود. روش در صورتی در برآورد ارتفاع برف مرز حوضه و واحدی مناسب در نظر گرفته شد که علاوه بر برآورد ارتفاع برف مرز معقول، در جهات مخالف تفاوتی در ارتفاع برف مرز برآورد شده بود (شکل ۳)، (جدول ۱۲). بر این اساس تفاوت ارتفاع برف مرز در جهات مختلف در تمام روش‌ها، در دو واحد ژئومورفیک شــرق و شــمال شرق، تفاوت ارتفاع نزدیک به هم برآورد گردید. در واحد ژئومورفیک ایران مرکزی، با توجه به اختلاف ارتفاع برف مرز برآورد شده از میانگین، ابتدا روش ارتفاع کف سیرک پورتر و سپس روش نسبت پنجه به دیواره (رایت) شرایط مطلوب‌تری دارند. از این نظر فقط در حوضه آبریز کویر سیاه کوه به کمک روش ارتفاع کف سیرک پورتر، ارتفاع برف مرز متفاوتی در جهات مختلف برآورد شده است. در سایر حوضه‌های آبریز، به کمک روش نسبت پنجه به دیواره (رایت)، اختلاف ارتفاع معقول‌تری در جهات مختلف محاسبه‌شده است. بر این اساس در این واحد ژئومورفیک ارتفاع برف مرز برآورد شده در حوضه‌های آبریز مختلف و تفاوت ارتفاعی در جهات مختلف، نه از عرض جغرافیایی بلکه بیشـــتر از شـــرایط محلی تأثیر پذیرفته اســـت؛ بــه‌طوری‌کــه ارتفاع برف مرز در حوضـــه آبریز کویر لوت (جنوبی‌ترین و گرم‌ترین حوضـــه) ۲۷۹۶ متر اســـت، درصـــورتی‌که ارتفاع برف مرز در حوضــه آبریز کویر درانجیر که در شــرق حوضــه آبریز کویر لوت واقع‌شده است ۳۰۹۸ متر اســـت. می‌توان گفت که جهت در ایجاد ســـیرک‌های یخچالی و ارتفاع برف مرز اثرگذار بوده اســـت،

به‌طوری‌که ارتفاع بلندترین قله در حوضـه‌های آبریز درانجیر و کویر لوت ٤۲۳۳ متر در کوه‌های پلوار است. جهت مؤثر بر ارتفاع سیرک‌ها در حوضه آبریز کویر لوت، شمال شرقی و در حوضه آبریز کویر درانجیر، جنوب غربی است و همین عامل در تفاوت ارتفاع برف مرز برآورد شـده در آن‌ها نقش داشـته اسـت. در واحد ژئومورفیک شمالی از غرب به شـرق، با توجه به کاهش ریزش‌های جوی و رطوبت نسـبی، ارتفاع برف مرز کاهش داشـته اسـت. در حوضه‌های آبریز متعلق به این واحد ۲ استثنا وجود دارد؛ یکی حوضه آبریز تالش- مرداب انزلی که ناهمواری‌های آن جهت شمالی- جنوبی داشته است و براثر شرایط محلی کمترین ارتفاع برف مرز (۲۰۳۳ متر) را در کل ایران به خود اختصـاص داده اسـت و دیگری حوضـه آبریز کویر مرکزی (قسمت‌های شمالی) که جهت دامنه‌های آن به سمت جنوب (البرز جنوبی) اسـت. این حوضه آبریز ارتفاع برف متوسطی در بین حوضه‌های آبریز این واحد دارد (۲٦٦٤ متر). روش نسبت‌های ارتفاعی و روش ارتفاع کف سیرک پورتر، روش مناسب‌تری برای این واحد معرفی گردید.



شکل ۳- ارتفاع برف مرز در واحدهای ژئومورفیک ایران

جدول۱۲- مقدار انحراف معیار در واحدهای ژئومورفیک

واحد ژئومورفیک	روش‌ها	میانگین	میانگین ارتفاع	انحراف از میانگین	انحراف معیار
ایران مرکزی	ارتفاع کف سیرک پورتر	۲۹٦۹	۲۹٦۷/۲۵	۱/۷۵	۱۸/۸۷۲
	پنجه به دیواره (رایت)	۲۹۵٦		-۱۱/۲۵	
	پنجه به دیواره (پورتر)	۲۹۹۷		۲۹/۷۵	
	نسبت‌های ارتفاعی	۲۹٤۷		-۲۰/۲۵	

واحد ژئومورفیک	روش‌ها	میانگین	میانگین ارتفاع	انحراف از میانگین	انحراف معیار
شمال	ارتفاع کف سیرک پورتر	۲۵۵۶	۲۵۲۸	۲۸	۳۲/۱۱۶
	پنجه به دیواره (رایت)	۲۵۵۱		۲۳	
	پنجه به دیواره (پورتر)	۲۴۷۵		-۵۳	
	نسبت‌های ارتفاعی	۲۵۳۰		۲	
زاگرس	ارتفاع کف سیرک پورتر	۲۶۸۴	۲۶۴۲/۲۵	۴۱/۷۵	۴۵/۱۲۴
	پنجه به دیواره (رایت)	۲۵۸۳		-۵۹/۲۵	
	پنجه به دیواره (پورتر)	۲۶۸۸		۴۵/۷۵	
	نسبت‌های ارتفاعی	۲۶۱۴		-۲۸/۲۵	
شمال غرب	ارتفاع کف سیرک پورتر	۲۶۶۱	۲۵۸۳	۷۸	۹۵/۲۳۳
	پنجه به دیواره (رایت)	۲۴۸۷		-۹۶	
	پنجه به دیواره (پورتر)	۲۶۹۴		۱۱۱	
	نسبت‌های ارتفاعی	۲۴۹۰		-۹۳	
شمال شرق	رایت	۲۴۹۳	۲۴۴۲/۲	۱۱۱	۶۳/۹۴۴
	ارتفاع کف سیرک پورتر	۲۳۹۴		-۹۳	
	پنجه به دیواره (رایت)	۲۳۷۸		-۶۴/۲	
	پنجه به دیواره (پورتر)	۲۵۴۲		۹۹/۸	
	نسبت‌های ارتفاعی	۲۴۰۴		-۳۸/۲	
شرق	رایت	۲۵۴۰	۲۵۲۲/۲	۱۷/۸	۱۰/۲۰۵
	ارتفاع کف سیرک پورتر	۲۵۲۴		۱/۸	
	پنجه به دیواره (رایت)	۲۵۱۰		-۱۲/۲	
	پنجه به دیواره (پورتر)	۲۵۱۵		-۷/۲	
	نسبت‌های ارتفاعی	۲۵۲۲		-۰/۲	

نتیجه بررسی روش‌های مختلف در واحد ژئومورفیک زاگرس حاکی از آن است که روش نسبت‌های ارتفاعی در این واحد، هم از نظر ارتفاع برف مرز و هم از نظر تفاوت اختلاف برف مرز در جهات مختلف کاربرد مناسب‌تری دارد. پیچیدگی امتداد ناهمواری‌ها در واحد ژئومورفیک شمال غرب باعث شد که در جهات اصلی به غیر شمال شرق- جنوب غرب سیرک‌ها پراکنده‌شده باشند و بر این اساس ارتفاع برف مرز در جهات مختلف برآورد گردید. در واحد ژئومورفیک شمال غرب، روش ارتفاع کف سیرک پورتر چه در برآورد ارتفاع برف مرز و چه در تفاوت ارتفاعی جهات مختلف، در همه زیرحوضه‌ها روش مناسب‌تری است. در واحد ژئومورفیک شمال شرق، روش نسبت‌های ارتفاعی و روش ارتفاع کف سیرک پورتر به ترتیب کمترین تفاوت را با میانگین ارتفاعی برآورد شده به روش‌های مختلف دارد. از نظر تفاوت ارتفاع برف مرز در جهات مختلف، حوضه آبریز قره‌قوم با روش ارتفاع کف

سیرک پورتر و حوضه آبریز اترک با روش نسبت‌های ارتفاعی هماهنگی بیشتری دارد و در واحد ژئومورفیک شرق و تنها حوضــه آبریز آن (نمکزار خواف) ارتفاع برف مرز با روش نسـبت پنجه به دیواره (رایت) همخوانی بیشتری دارد.

۵- نتیجه‌گیری

ارتفاع برف مرز کواترنری در واحد ژئومورفیک زاگرس در طی کواترنری به‌طور متوسـط ۲٦۰۸ متر بوده است. اختلاف ارتفاع برف مرز کواترنری در این واحد ژئومورفیک که در عرض جغرافیایی گسترش بیشتری دارد، ٦۳۷ متر برآورد شد. ارتفاع برف مرز دامنه‌های نگار (سطوح ارضی به‌طرف جنوب غربی) ٥۲٤ متر بالاتر از ارتفاع برف مرز دامنه‌های شــمال شــرقی (دامنه‌های نســار) برآورد گردید. در واحد ژئومورفیک ایران مرکزی به‌عنوان خشــک‌ترین واحدی که در طی کواترنری تحت تأثیر فرایندهای یخچالی بوده اســـت، روش ارتفاع کف ســـیرک پورتر و روش نسبت پنجه به دیواره رایت مناسب‌ترین روش‌ها برای برآورد ارتفاع برف مرز کواترنری معرفی گردید. در این واحد ژئومورفیک ارتفاع برف مرز برآوردی بین ۲۷٤۳ متر تا ۳۰۹۸ متر متغیر بوده است (۳٦۰ متر اختلاف ارتفاع). ارتفاع برف مرز کواترنری این واحد ۲۸۵۳ متر و بالاترین ارتفاع برف مرز در بین واحدهای ژئومورفیک ایران بوده است. از نظر جهت در این واحد ژئومورفیک، تفاوت ارتفاع برف مرز دامنه‌های نســار با نگار در حدود ۳۳۷ متر بوده است واحد ژئومورفیک شــمال در طول جغرافیایی گســترش بیشــتری نسبت به عرض جغرافیایی دارد؛ ارتفاع برف مرز برآورد شــده به‌خصوص برای حوضه‌های آبریزی جنوب دریای خزر، از غرب به شرق با کاهش بارش و رطوبت نســبی، کمتر شــده اســت. بالاترین ارتفاع برف مرز برآورده شــده در این واحد ۲۹۸۷ متر مربوط به حوضــه آبریز سفیدرود- هراز در جنوب غربی دریای خزر و کمترین ارتفاع ۲٤٦۰ متر مربوط به حوضه آبریز قره‌سو- گرگان رود در جنوب شرقی دریای خزر است. در این واحد ژئومورفیک یک استثنای مهم وجود دارد و آن حوضه آبریز تالش- مرداب انزلی اســت که با امتداد شمالی- جنوبی کوه‌های تالش، کمترین ارتفاع برف مرز را در بین حوضه‌های آبریز ایران داشته است (۲۰۳۳ متر).د درواحد ژئومورفیک شمال غرب، مناسب‌ترین روش برای برآورد ارتفاع برف مرز، روش ارتفاع کف ســیرک پورتر بوده اســت، چراکه برف مرز برآورد شــده در این روش هم کمترین اختلاف را با میانگین دارد و هم تأثیر جهت در تفاوت ارتفاع برف مرز را منعکس می‌کند. در این واحد ژئومورفیک ارتفاع برف مرز کواترنری بین ۲٤۵۳ متر (حوضــه آبریز ارس) تا ۲٦۸۵ متر (حوضــه آبریز سفیدرود) متغیر بوده است (۲۳۲ متر اختلاف ارتفاع).د درمجموعباید گفت که در طی کواترنری از جنوب به شــمال ایران، ارتفاع برف مرز کاهش داشته است، به‌طوری‌که از نظر عرضی این اختلاف بین حوضه آبریز کارون (جنوبی‌ترین حوضه آبریز) و حوضه آبریز ارس (شمالی‌ترین حوضه آبریز) ٤۸٤ متر است. از نظر طول جغرافیایی، حوضه آبریز مرزی غرب در غرب با ارتفاع برف مرز برآوردی ۲۳۰۰ متر و حوضه آبریز کویر درانجیر در مرکز ایران با ۳۱۰۰ متر، بیش از ۸۰۰ متر اختلاف ارتفاع برف

را داشـــته‌اند. در مجموع در طی کواترنری اختلاف ارتفاع برف مرز ایران بیش از ۱۰۶۵ متر و ارتفاع برف مرز بین ۲۰۳۰ تا ۳۱۰۰ متر متغیر بوده اســـت. متوســـط ارتفاع برف مرز کواترنری ایران ۲۵۹۵ متر بوده اســـت. با توجه به عرض‌های جغرافیایی که آثار لندفرم های سـیرکی در آن‌ها شناسایی شد، می‌توان نتیجه گرفت که هر درجه عرض جغرافیایی ۸۹ متر بر ارتفاع برف مرز اثر گذاشته است.

کتابنامه

ابطحی، سید مرتضی؛۱۳۹۰. بررسی پالئوکلیمای حوضه آبخیز جاجرود به کمک شواهد یخچالی. کاوش‌های جغرافیایی مناطق بیابانی. ۱(۱). صص ۱۸۵ – ۲۰۱.

احمدآبادی، علی؛ کرم، امیر؛ سـرکیسیان، واردوهی؛۱۳۹۷. شناسایی سیرک‌های یخچالی زردکوه با تاکید بر ویژگی‌های ژئومورفومتری. هیدروژئومورفولوژی. ۱۵. صص۱-۱٦.

انتظاری، علیرضـا؛ امیر احمدی، ابوالقاسم؛ قرنجیک، امان محمد؛ جهانفر، علی؛ شایان یگانه، علی اکبر؛ ۱۳۹٤. بررسی ژئومورفولوژیکی تحولات اقلیمی حوضه آبریز گرگان رود در کواترنر. فصلنامه کواترنری ایران (علمی- پژوهشی). ۱(۲). صص ۱٦۹- ۱۸۰.

بهشـتی جاوید، ابراهیم؛ اسـفندیاری؛ فریبا؛ ۱۳۹۷. اسـتخراج و شـناسـایی لندفرم های یخچالی با استفاده از روششی گرا(مطالعه موردی سیرک‌های یخچالی سبلان). پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی. ٦(٤). صص ۸۸ – ۱۰۲.

پاریزی، اسـماعیل؛ رامشـت، محمدحسـین؛ تقیان، علیرضـا؛ ۱۳۹۲. شـواهد یخچال‌های کواترنری پایانی در حوضه‌ی تنگوئیه سیرجان. پژوهش‌های ژئومورفولوژیکی کمی.۲(۳). صص ۱۱۱- ۱۲۸.

جعفربیگلو، منصـور؛ یمانی، مجتبی؛ عباس نژاد، احمد؛ زمان زاده، سید محمد؛ ذهاب ناظوری، سمیه؛۱۳۹۳. بازسازی برف مرزهای یخچالی کواترنر در کوهسـتان بیدخوان (استان کرمان). فصلنامه علمی-پژوهشی و بین‌المللی انجمن جغرافیای ایران.۱۲(٤۰). صص ۹۳-۱۰۷.

جعفری، غلامحسـن؛ اصـغری سـراسـکانرودی، صیاد؛ ۱۳۹۳. بررسی آثار یخچالی کواترنری زنجان رود. پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی. ۳(۲). صص ۱٦ – ۳۰.

خوش‌رفتار، رضـا؛ فرید مجتهدی، نیما؛ اسـعدی اسـکوئی، ابراهیم؛ نوروزپور شـهربیجاری، کامبیز؛۱۳۹۵. شـواهد ژئومورفولوژیکی یخچال‌های کوهسـتانی پلئیستوسن پایانی در کوه شاه البرز- البرز غربی. فصلنامه کواترنری ایران (علمی- پژوهشی).۲(۲). صص ۱۵۵- ۱٦۵.

رامشـت، محمدحسین؛ لاجوردی، محمود؛ لشکری، حسن؛ محمودی محمدآبادی، طیبه؛۱۳۹۰. ردیابی آثار یخچال‌های طبیعی (مطالعه موردی: یخچال طبیعی حوضه تیگرانی ماهان). جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی. ۲۲_۲). صص ۵۹-۷۸.

رامشـت، محمدحسین؛ ۱۳۸۰. دریاچه‌های دوران چهارم بستر تبلور و گسترش مدنیت در ایران، تحقیقات جغرافیایی. ۱٦(٦۰). صص ۹۰-۱۱۱.

رامشت، محمدحسین؛ ۱۳۹۳. نقشه‌های ژئومورفولوژی (نمادها و مجازها). نشر سمت، دانشگاه تهران.

سرور، جلیل الدین؛ فرید مجتهدی، نیما؛۱۳۹۰. شواهد ژئومورفولوژیکی یخچالی پلئیستوسن در دامنه شمالی کوه خشچال (البرز غربی). فصلنامه جغرافیایی سرزمین.۸(۳۱). صص ۵۱ – ٦۷.

سیف، عبداله؛ ثروتی، محمدرضا؛ راهدان مفرد، محمد؛ ۱۳۹٤. بازسازی برف مرزهای کواترنری پایانی در محدوده سایت ریگ. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی.۳۰(۱). صص ۱۹۳–۲۰۸.

شریفی، محمد؛ فرح‌بخش، زهرا؛ ۱۳۹٤. بررسی آنومالی حرارتی و رطوبتی بین زمان حال و پلئیستوسن و بازسازی شرایط اقلیمی با استفاده از شواهد ژئومورفیک (مطالعه موردی: حوضه‌ی خضرآباد –یزد). پژوهش‌های جغرافیای طبیعی. ٤(٤۷). صص ۵۸۳–٦۰٤.

شمسی‌پور، علی اکبر؛ باقری سید لشکری، سجاد؛ جعفری اقدم، مریم؛ سلیمی منش، جبار؛ ۱۳۹٤. بازسازی برف مرزهای آخرین دوره یخچالی با شواهد دوره‌های یخچالی در زاگرس شمال غربی (مطالعه موردی: تاقدیس قلاجه). جغرافیا و توسعه، شماره ۳۹. صص ٦۱ – ۷٤.

طاحونی، پوران؛ ۱۳۸۳. شواهد ژئومورفولوژیک فرسایش یخچالی پلئیستوسن در ارتفاعات طالش. پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ٤٦، صص ۳۱ – ۵۵.

علایی طالقانی، محمود؛ ۱۳۹۱. ژئومورفولوژی ایران، انتشارت قومس.

علیزاده، امین؛ ۱۳۹۰. اصول هیدرولوژی کاربردی. انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.

قربانی شورستانی، علی؛ خسروی، عذرا؛ نور محمدی، علی محمد؛ ۱۳۹۵. بررسی شواهد ژئومورفولوژیکی یخچالی کواترنری در ارتفاعات شمال شرق ایران (مطالعه موردی: رشته‌کوه بینالود). پژوهش‌های ژئومورفولوژیکی کمی، ۵(۱). صص ۱–۱۳.

قهرودی تالی، منیژه؛ حسنی قارنایی، رسول؛ خورشیدی، طاهر؛ حیدری، مهرنوش؛ ۱۳۹٦. شواهد یخچالی رندوله و بابوله در قلمرو مرزهای ایران، ترکیه و عراق. فصلنامه کواترنری ایران(علمی–پژوهشی).۳(۳). صص ۲۷۷–۲۸۸.

قهرودی تالی، منیژه؛۱۳۹۰. تخمین و مقایسه برف مرزهای دائمی در عصر یخچالی و بین یخچالی (مطالعه موردی: حوضه رود هراز). جغرافیا و توسعه. شماره ۲۵. صص ۹۷–۱۱۰.

کیانی، طیبه؛ رامشت، محمدحسین؛ ملکی، امجد؛ صفاکیش، فریده؛ ۱۳۹۵. بررسی تغییرات حوضه گاوخونی در فاز پایانی کواترنر. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی.٤۸(۲). صص ۲۱۳–۲۲۹.

نعمت‌الهی، فاطمه؛ رامشت، محمدحسین؛ ۱۳۸۵. آثار یخساری در ایران، نشریه دانشکده علوم انسانی تبریز. شماره ۳. صص ۱۳۰–۱٤۹.

یمانی، مجتبی؛ ۱۳۸۸. اندازه‌گیری حرکت سالیانه یخچال علم‌کوه. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی. شماره ٦۷. صص ۳۱ – ۵۲.

یمانی، مجتبی؛ زمانی، حمزه؛ ۱۳۸٦. بازیابی حدود مرز برف دره شهرستانک در آخرین دوره یخچالی. جغرافیا (نشریه علمی– پژوهشی انجمن جغرافیایی ایران) . ۵(۱۲و ۱۳). صص ۹۹–۱۱٦.

یمانی، مجتبی؛ زمانی، حمزه؛ ۱۳۹۵. تعیین ارتفاع خط تعادل (ELA) در دره هراز در آخرین دوره یخچالی. فصلنامه کواترنری ایران (علمی- پژوهشی). ۲(٤). صص ۳۰۵- ۳۱٤.
یمانی، مجتبی؛ شمسی‌پور، علی اکبر؛ جعفری اقدم، مریم؛۱۳۹۰. بازسازی برف مرزهای پلیوستوسن در حوضه‌ی جاجرود. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی. شماره ۷٦. صص ۳۵-۵۰.
یمانی، مجتبی؛ مقیمی، ابراهیم؛ عزیزی، قاسم؛ باخویشی، کاوه؛ ۱۳۹۲. تعیین قلمروهای مورفوکلیماتیک هولوسن در بلندی های غرب استان کردستان. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، دانشگاه تهران، ٤۵(٤). صص۱٤-۱.

Barr, ID., Spagnolo, M., 2015. Glacial cirques as palaeoenvironmental indicators: Their potential and limitations, Earth-Science Reviews.151. 48-78.
Delmas,M., Gunnell,Y., Calvet, M., 2015. A critical appraisal of allometric growth among alpine cirques based on multivariate statistics and spatial analysis, Geomorphology. 228. 637-652.
Evans DJ. ReaBR. 2003. Surging glacier land system. In Glacial land systems. Taylor and Francis
Evans, IS., 2006. Allometric development of glacial cirque form: geological, relief and regional effects on the cirques of Wales, Geomorphology .80(3). 245-266.
GhahroudiTali, M., Hassani Gharnaie, R., 2012. Evolution of glacial landforms in Iraq and Iran borders .Geological Conference of Kurdistan, November 14-16, Sulaimani, Kurdistan Region, Iraq.
Mîndrescu, M,. Evans, IS,. 2014. Cirque form and development in Romania: allometry and the buzzsaw hypothesis, Geomorphology. 208. 117-136.
Mitchell, S.G,. Montgomery, D.R., 2006. Influence of a glacial buzz saw on the height and morphology of the Cascade Range in central Washington State, USA. Quaternary Research. 65(1). 96-107.
Moayeri, M,. Ramesht, M.H., Saif, A., Yamani, M., JafariGhH., 2011. The impact of mountainous skirts direction of Iran on differences in altitude of withers and ice equilibrium line of quaternary, Geography and environmental planning journal .40(4).1-12.
Moussavi,M.S., Valadan, Zoej, M.J. Vaziri, F., Sahebi, M.R., Rezaei, Y.,2009. A new glacier inventory of Iran, Annals of Glaciology. 50(53). 93-103.
Napieralski, J., HarborJ.Li. Y., 2007. Glacial geomorphology and geographic information systems, Earth-Science Reviews. 85(1).1-22.
Oskin, M., Burbank, D.W., 2005. Alpine landscape evolution dominated by cirque retreat, Geology .33(12).933-936.
Pedrami, M., 1982. Pleistocene Glaciation's and Paleoclimate in Iran. Geol. Surv. Iran, Tehran.
Porter, S.C., 2000. Snowline depression in the tropics during the Last Glaciation, Quaternary science reviews. 20(10). 1067-1091.
Salcher,B.C., Kober,F., Kissling ,E., Willett, S,D., 2014. Glacial impact on short-wavelength topography and long-lasting effects on the denudation of a DE glaciated mountain range, Global and Planetary Change. 115. 59-70.
Sarıkaya, M. A., Zreda, M., Çiner, A., 2009. Glaciations and paleoclimate of Mount Erciyes, central Turkey, since the Last Glacial Maximum, inferred from 36 Cl cosmogenic dating and glacier modeling, Quaternary Science Reviews. 28(23). 2326-2341.
Sarıkaya, M.A., Ciner,A., Zreda, M., 2011. Quaternary glaciations of Turkey, Developments in quaternary science. 15. 393-403.

Seif, A., Ebrahimi, B., 2014. Combined Use of GIS and Experimental Functions for the Morphometric Study of Glacial Cirques in Zardkuh Mountain, Iran, Quaternary International .353.236-249.

Spotila, J. A., Buscher, J. T., Meigs, A. J., &Reiners, P. W., 2004. Long-term glacial erosion of active mountain belts: example of the Chugach–St. Elias Range, Alaska, Geology. 32(6). 501-504.

Stokes, C. R., Gurney, S. D., Shahgedanova, M., &Popovnin, V. (2006). Late-20th-century changes in glacier extent in the Caucasus Mountains, Russia/Georgia. Journal of Glaciology, 52(176), 99-109.

Xu X. 2014. Climates during Late Quaternary glacier advances, glacier-climate modeling in the Yingpu Valley, the eastern Tibetan Plateau. Quaternary Science Reviews 101, 18-27.